中国生态农业学报 2017 年 3 月 第 25 卷 第 3 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Mar. 2017, 25(3): 429−440

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.160747

张杰, 赵瑞东, 田超, 邱瑞, 石博安, 杨金泽, 陈青锋, 陈亚恒. 基于限制程度排序的卢龙县耕地质量提升重点区域划定研究[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(3): 429−440
Zhang J, Zhao R D, Tian C, Qiu R, Shi B A, Yang J Z, Chen Q F, Chen Y H. Delineation of key areas of cultivated land quality improvement in Lulong County based on restriction degree[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2017, 25(3): 429−440

基于限制程度排序的卢龙县耕地质量提升重点区域划定研究*

张 杰[1], 赵瑞东[3], 田 超[2], 邱 瑞[1], 石博安[2], 杨金泽[2], 陈青锋[1], 陈亚恒[1,2]**

(1. 河北农业大学国土资源学院 保定 071000; 2. 河北农业大学资源与环境科学学院 保定 071000; 3. 河北农业大学商学院 保定 071000)

摘 要: 耕地是保证国家粮食安全的先决条件, 也是保障社会安全及社会可持续发展的物质基础。中国耕地总体数量基数大, 但整体的质量水平却很低。为明确耕地整治方向, 针对不同地区进行不同重点的耕地整治, 本文基于秦皇岛卢龙县农用地分等定级, 构建耕地质量评价指标体系, 运用得分因子标识法, 确定限制因子组合类型, 引入障碍度模型对限制因子组合进行修正, 对卢龙县进行限制因子重点区域划定。结果显示, 卢龙县 15 981 个耕地地块都存在高限制因子, 汇总 95 种限制因子组合类型, 共计 43 909.71 hm^2。引入障碍度模型修正后卢龙县耕地可划分为 5 个主导限制因子重点区域: 道路通达度限制因子主导区、地形坡度限制因子主导区、灌溉保证率限制因子主导区、农田防护林比率限制因子主导区和有效土层厚度限制因子主导区; 其中农田防护林比率限制因子主导区整治面积最大, 为 37 680.91 hm^2, 占耕地总面积的 85.81%, 主要分布在卢龙镇、燕河营镇和双望镇; 其次为有效土层厚度限制因子主导区, 面积为 3 861.32 hm^2, 主要分布在印庄乡; 道路通达度限制因子主导区整治面积为 1 876.16 hm^2, 主要分布在双望镇; 灌溉保证率限制因子主导区整治面积为 319.44 hm^2, 主要分布在燕河营镇; 地形坡度限制因子主导区整治面积最小, 为 171.87 hm^2, 占耕地总面积的 0.39%, 主要分布在刘田各庄镇。结合重点区域内限制因子可知, 卢龙县主要限制因子以农田防护林比率和有效土层厚度为主, 灌溉保证率和道路通达度为辅; 在进行耕地整治时, 可重点加强防护林建设, 增加有效土层厚度, 改良土壤, 提高土壤肥力, 加强农田设施及田间道路建设, 确保粮食稳中增产, 保障区域内粮食安全。研究结果可为丘陵山区整治规划、划定耕地质量提升重点区域提供技术支持, 为今后耕地整治提供科学依据。

关键词: 耕地质量提升; 限制因子; 限制程度; 重点区域; 卢龙县
中图分类号: F301 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2017)03-0429-12

Delineation of key areas of cultivated land quality improvement in Lulong County based on restriction degree*

ZHANG Jie[1], ZHAO Ruidong[3], TIAN Chao[2], QIU Rui[1], SHI Bo'an[2], YANG Jinze[2], CHEN Qingfeng[1], CHEN Yaheng[1,2]**

(1. College of Land and Resources, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China; 2. College of Resources and

* 河北省高等学校科学技术研究优秀青年基金项目(Y2012015)和河北省科技厅平台项目(13967502D)资助
** 通讯作者: 陈亚恒, 研究方向为土地利用工程、土壤与土地持续利用。E-mail: chenyahen@126.com
张杰, 研究方向为土地利用工程。E-mail: gtzj_0618@163.com
收稿日期: 2016-08-23 接受日期: 2016-11-10
* Supported by the Research Foundation for Excellent Youngers in University of Hebei Province (Y2012015) and the Science and Technology Platform Project of Hebei Province (13967502D)
** Corresponding author, E-mail: chenyahen@126.com
Received Aug. 23, 2016; accepted Nov. 10, 2016

Environment, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China; 3. College of Business Studies, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China)

Abstract: Cultivated land is not only an essential precondition for national food security, but also a material foundation for social security and sustainable development. The overall quantity of cultivated lands in China is large, but quality level has remained low. In order to design a definite direction for cultivated land consolidation and planning for different areas in Lulong County of Qinhuangdao, Hebei Province, this study established a quality evaluation indicator system for cultivated lands and determined the composite types of the limiting factors based on a score factor identification method. The study also introduced the obstacle degree model to modify the limiting factor combination used to delimit the key areas of cultivated land quality improvement. The results showed 15 981 plots of cultivated lands with high level limiting factors and 95 limiting factor combination types in Lulong County, which totally accounted for 43 909.71 hm^2 of cultivated croplands. After the introduction of an modified obstacle degree model, cultivated land of Lulong County was divided into 5 dominant limiting factor areas consisting of road accessibility dominated region, terrain slope dominated region, irrigation guaranteed dominated region, farmland shelter belt ratio dominated region and effective soil thickness dominated region. The biggest area (37 680.91 hm^2) was mainly limited by farmland shelter belt ratio, accounting for 85.81% of the total cultivated area and mainly distributed across Lulong, Yanheying and Shuangwang Towns. The second-biggest area (3 861.32 hm^2) was mainly limited by effective soil thickness, which was mainly distributed across Yinzhuang Town. The area limited mainly by road accessibility was 1 876.16 hm^2 and was mainly distributed across Shuangwang Town. The area limited mainly by probability irrigation was 319.44 hm^2, which was mainly distributed across Yanheying Town. The smallest area limited mainly by terrain slope was 171.87 hm^2, making up only 0.39% of the total cultivated area and mainly distributed across Liutiangezhuang Town. Based on the limiting factors in the main areas, the dominant limiting factors of cultivated land quality in Lulong County were farmland shelter belt ratio and effective soil thickness. Then probability irrigation and road accessibility played subsidiary roles in limiting cultivated land quality in the study area. The remediation processes of cultivated land included the strengthening of construction of shelter forest and the increase of effective soil thickness and improvement of soil fertility through enhancing farmland establishment and construction of feeder roads. The study provided technical support for planning consolidation strategies in hilly and mountainous areas and defining each section in the improvement of cultivated land quality. It also provided scientific basis for future farmland regulation in the region.
Keywords: Cultivated land quality improvement; Limiting factor; Restriction degree; Key area; Lulong County

粮食安全问题是当今世界面临的重要问题，为确保粮食产量稳中有增，耕地整治势在必行[1-3]。增加粮食产量有两种途径，分别为耕地后备资源开发和提升现有耕地质量。随着土地开发项目的进行，耕地后备资源越来越少，而提升现有耕地质量将成为今后相关工作的重中之重，提升现有耕地质量的措施即为土地整治工程。目前土地整治工程虽取得较大成效，但仍存在整治效率低，目标不明确，缺少针对性，资金使用效率低等问题，对主要限制因子进行针对性改良，是土地整治工程的重要内容。

目前，国内关于耕地质量提升的研究大多直接利用农用地分等定级成果中的因素作为指标来评价耕地质量的提升，忽略了耕地整治可改造限制因子的影响[4-6]。在区域耕地整治的分区研究，国内学者主要运用相应理论方法对耕地生产力、土地整理、可持续利用及耕地价值等进行分区研究。刘国勖等[7]以松嫩平原为研究区，采用模糊聚类法针对相关县市的耕地生产能力进行分区；后期借助地理信息系统与数学模型集成技术，进行区域耕地资源价值的分区[8]；邢世和等[9]通过构建 24 个识别变量并借助主成分分析法和模糊聚类法对福建省的耕地可持续利用进行了分区评价；刘玉等[10]在分析区域耕地利用强度、增产潜力与综合产能的基础上，针对研究区的耕地利用情况，划分重点整理、优化提升、核心保护三大区域。在土地整理方面，利用景观生态分析法和以农用地分等为基础数据的分区方法较有代表性[11-12]。国内学者对基本农田和高标准基本农田重点建设区划定方法研究上，主要基于土地评价方法，通过构建指标评价体系，进行基本农田的划定工作[13-16]。综上所述，耕地质量提升和土地分区的相关领域研究较受关注，但对耕地质量提升重点区域划定提出科学有效的技术方法涉及较少。

近年来，随着工业化的发展、城市扩张及土地污染加剧，耕地质量下降，耕地质量提升迫在眉睫。为保证县域内的粮食安全，提高中低产田耕地质量，河北省卢龙县耕地整治势在必行。由于卢龙县开展耕地整治时间不长，资金筹措渠道单一，主要完善了田间路系统，而有效土层厚度等因素没有改良，缺乏有针对性的土地整治措施。本文通过卢龙县耕地的本底条件与利用条件两个方面选取耕地质量限制因子，构建耕

地质量评价指标体系, 引入限制因子障碍度分析模型, 划分耕地质量主导限制因子重点区域, 在整治区明确各耕地质量限制因子的程度, 提出有针对性的整治措施, 为燕山山脉丘陵地区土地整治提供理论依据。

1　研究区概况与数据来源

1.1　研究区概况

卢龙县位于河北省秦皇岛市西部, 118°45′54″E~119°08′06″E, 39°43′00″N~40°08′42″N, 处于华北平原的北部边缘地带, 主体地貌类型为山地丘陵, 高程在 22.7~627.0 m, 绝对高程差 599.3 m。2014 年全县土地总面积 95 580.24 hm^2, 其中耕地面积 43 909.71 hm^2, 占全县土地总面积的 45.94%。卢龙县地貌多样, 本文选取燕山山地丘陵区的卢龙县作为研究区域(图 1)。

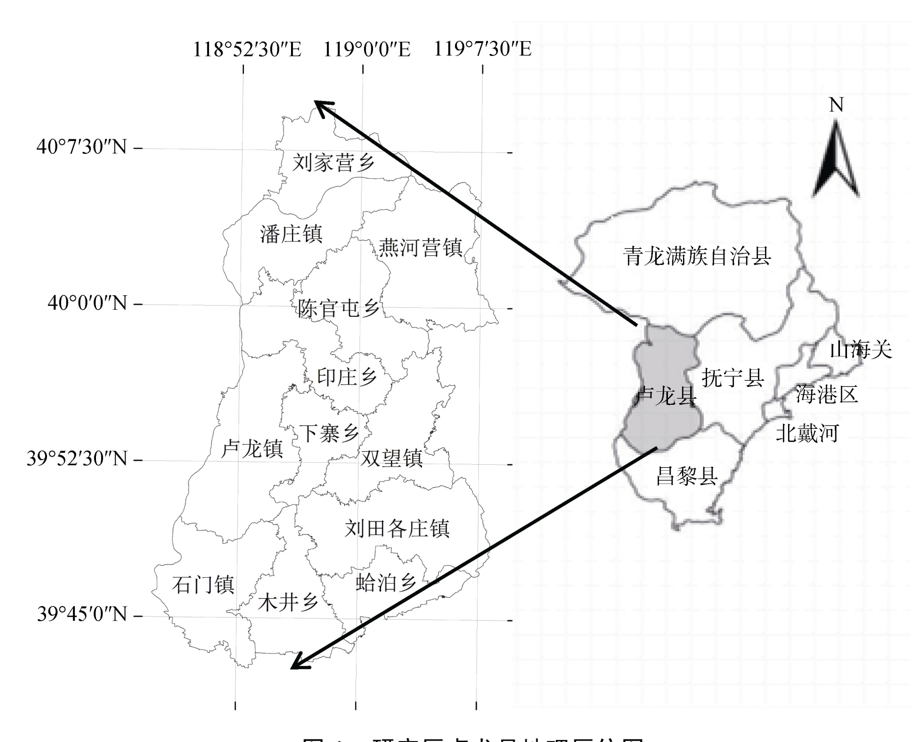


图 1　研究区卢龙县地理区位图
Fig. 1　Geographic location map of Lulong County

1.2　数据来源

本文所需数据来源为卢龙县 2014 年土地变更调查数据库, 卢龙县土壤志 1∶1 万土壤图, 2014 年 30 m×30 m DEM 影像图(地理空间数据云网站 http://www.gscloud.cn), 2012 年卢龙县农用地分等成果(图件、文本、数据库、测算表格等), 2014 年卢龙县耕地质量更新成果, 卢龙县林业部门统计资料等。其中, 耕地质量评价所需有效土层厚度、灌溉保证率、有机质含量等分等因子数据由农用地分等成果数据库获得; 田间(生产)路、图斑形态、农田防护林数据由土地利用现状图提取。

2　研究方法

2.1　构建耕地质量评价指标体系

2.1.1　耕地质量评价指标体系

基于卢龙县农用地分等定级成果, 对耕地质量的现状进行分析, 并充分考虑耕地质量的内涵与基本特征, 遵循评价指标体系构建原则, 构建耕地质量评价指标体系(表 1)。首先, 基于以往的卢龙县土地整治工程, 主要对灌溉保证率、有机质含量、田块连片度、田块规整度、田块平整度、田间道路通达度、耕作便利度和农田防护林比率布设工程项目, 基于 2012 年农用地分等定级成果选取地形坡度、表土质地、剖面构型、土壤有机质含量、有效土层厚度、灌溉保证率、农田防护林比率、耕作便利度、道路通达度、田块平整度、田块规整度和田块连片度 12 个评价指标; 其次以地形坡度等 12 个限制因子分值为自变量, 以耕地质量利用等指数为因变量对各限制因子通过 SPSS 进行多因子多元回归分析, 确定耕地质量影响因子与耕地质量之间的关系, 并运用主成分分析法确定各评价指标的权重; 再次, 在 Arcgis 中将卢龙县土地利用现状图、地形图、土壤图进行叠加, 并提取其 15 981 个耕地图斑作为耕地质量评价单元, 构建耕地质量评价指标体系, 为耕地质量限制因子限制程度计算提供基础。

表 1 卢龙县耕地质量评价指标体系及权重

Table 1 Evaluation indexes and weights of cultivated land quality in Lulong County

目标层 Goal layer	准则层 Criteria layer	权重 Weight	指标层 Index layer	权重 Weight
耕地质量 Cultivated land quality	本底条件 Background conditions	0.874	地形坡度 Terrain slope	0.253
			有效土层厚度 Effective soil layer depth	0.248
			表土质地 Topsoil texture	0.092
			剖面构型 Profile constitution	0.085
			土壤有机质含量 Soil organic matter content	0.088
			灌溉保证率 Irrigating guarantee rate	0.234
	利用条件 Utilization conditions	0.126	农田防护林比率 Farmland shelter belt ratio	0.235
			耕作便利度 Farming convenience degree	0.113
			道路通达度 Road accessibility	0.248
			田块平整度 Field planeness	0.164
			田块规整度 Field regularity degree	0.139
			田块连片度 Field contiguous degree	0.101

2.1.2 评价指标量化

1)田块连片度[17](Q)。反映田块的集中连片程度，Q 值以地块面积作为基础进行量化，Q 值越大，代表地块连片程度越高，反之则越低。具体计算如下：

$$Q=\begin{cases}20 & (a\leqslant 4.00)\\ 20+80\dfrac{a-4.00}{12.63-4.00} & (4.00<a\leqslant 12.63)\\ 100 & (a>12.63)\end{cases} \quad (1)$$

式中：Q 为耕地连片度；a 为地块面积(hm^2)，其阈值通过对全区所有耕地地块面积采用自然断点法获得。

2)田块规整度[18](FRAC)。借用景观生态学中的分形维数(FRAC)来表达(公式 2)，分形维数描述了田块周边的复杂程度，该指数理论范围为[1.0，2.0]，数越小表示田块越规则。最小值为 1.0，表示评价单元是最简单的正方形；最大值为 2.0，表示评价单元为最复杂的地块，其计算公式如下：

$$\text{FRAC}=\frac{2\log(p/4)}{\log(a)} \quad (2)$$

式中：FRAC 为田块规整度，p 为地块周长，a 为地块面积。

3)田块平整度计算[18]。用田块相对高程差来表示田块平整度的高低，基于 DEM 数据，在 Arcgis 9.3 软件平台中对田块的最大高程值与最小高程值利用 3D 分析、空间分析计算高程差。

4)田间道路通达度、耕作便利度计算[19]。区位条件、农业生产便利度都将对耕地质量产生一定影响。因此，本文中耕地的区位条件用田间道路通达度来表示；农业生产便利度选择耕作便利度指标来表示。这两个因子均属于扩散型指标，道路通达度用田块到现状公路的距离作为度量；而耕作便利度，则利用评价单元到农村道路距离作为衡量尺度。两指标作为线性指标，以直线衰减法进行赋值计算，其具体计算见公式(3)–(5)：

$$f_i=M_i(1-r) \quad (3)$$

$$r=d_i/d \quad (4)$$

$$d=S/2L \quad (5)$$

式中：f_i 为第 i 个指标作用分值，M_i 为规模指数，r 为相对距离，d_i 为地块相对评价因子实际距离，d 为评价因子半径，S 为卢龙县面积，L 为路的长度。

5)农田防护林比率[20]。根据林业部门 2012 年的统计数据，计算各耕地斑块的防护林面积比例，其计算公式如下：

$$H=\frac{S_f}{S_{tb}} \quad (6)$$

式中：H 为农田防护林比率，S_f 为防护林面积，S_{tb} 为耕地图斑面积。

2.1.3 评价指标分级

为使评价工作规范化和便于数据处理，对各评价指标因子进行量化分级，并根据不同等级分别赋值。赋值区间为[0, 100]，分值大小与耕地质量呈正相关。分等因子分级标准根据 2012 年卢龙县农用地分等定级的成果对评价指标进行分级；补充因子根据卢龙县高标准基本农田建设相关指标分级标准、卢龙县山地丘陵区的现状并结合专家意见与农户调查结果确定分级标准。各评价指标分级标准见表 2。

2.2 评价单元限制因子组合类型设计

在设计各评价单元限制程度组合类型之前，首先对各限制因子进行定义，并确定各限制因子对耕地质量的限制程度。本文在设计因子组合类型中采

表 2　卢龙县耕地质量评价指标分级分值表

Table 2　Score table of evaluation index classification of cultivated land quality in Lulong County

指标层 Index layer	指标分级标准 Index classification standard									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
表土质地 Topsoil texture	壤土 Loam soil	黏土 Clay soil		砂土 Sandy soil			砾质土 Gravel soil			
灌溉保证率 Irrigating guarantee rate	充分满足 Complete satisfaction	基本满足 Basic satisfaction		一般满足 Common satisfaction			无灌溉条件 Non-irrigation			
有效土层厚度 Effective soil layer depth (cm)	≥150	100~150		60~100			30~60			<30
地形坡度 Terrain slope (°)	<2	2~5	5~8		8~15			15~25		≥25
土壤有机质含量 Soil organic matter content (g·kg^{-1})			>20		15~20	10~15	6~10		<6	
剖面构型 Profile constitution	通体壤，壤/黏/壤 Loam, loam/clay/loam	壤/黏/黏，壤/砂/壤，砂/黏/黏 Loam/clay/clay, loam/sand/loam, sand/clay/clay	黏/砂/黏，通体黏 Clay/sand/clay, clay	砂/黏/砂 Sand/clay/sand	壤/砂/砂 Loam/sand/sand	黏/砂/砂 Clay/sand/sand	通体砂 Sand	通体砾 Gravl		
田块连片度 Field contiguous degree	100	80~100	60~80		40~60		20~40		20	
田块规整度 Field regularity degree	1.0~1.1		1.1~1.2		1.2~1.3		1.3~1.4		1.4~1.5	>1.5
田块平整度 Field planeness	<5		5~15		15~25		25~40			>40
道路通达度 Road accessibility	>80		60~80		40~60		20~40		0~20	<0
耕作便利度 Farming convenience degree	>80		60~80		40~60		20~40		0~20	<0
农田防护林比率 Farmland shelter belt ratio	>0.4		0.2~0.4		0.1~0.2		0.002~0.1			<0.002

取得分因子标识的方法[21]，代替原有的因子组合类型，因子得分标识即为生长环境对作物的满足程度。满足程度越小，说明该因子对耕地质量的限制作用越大。满足程度最小的为第 1 限制因子，次之为第 2 限制因子，依次类推。按照这一原则并依据表 2 评价指标分值分级标准，当分值低于 50 分时，该评价指标就会对作物表现出明显的限制作用。各地块耕地质量限制因子分值详见表 3。

当土壤有机质含量小于 50 分(有机质含量小于 15 g·kg^{-1})时则可以说明养分贫瘠，表层土壤质地为砾质土、缺少灌溉条件，这些条件均导致作物生长受到明显限制。因此在研究中，将得分在 10~50 的指标称为高限制因子。而坡度低于 5°的缓坡、极缓坡，表层土壤质地为壤土、灌溉保证率能够满足作物生长需求，这些指标的分值一般为 90~100 分，可以称为低限制因子(因子得分属于相对高低，分值为 100 分并不等同于无限制程度，不存在绝对无限制程度的因子，因此将分值为 100 分的因子也划分为低限制因子)。最后，将剩余得分在 60~80 分的因子划分为中等限制因子。

将划分的不同限制等级的影响因子按照“高中低”的组合代替前文中的标识代码，然后再以高限制因子为主要限制因子，并结合其含有的高限制因子个数确定最终影响因子组合类型，如“低中低高高高高中高中低高”的最终影响因子组合类型是“6 有效土层厚度+有机质含量+灌溉保证率+田块连片度+道路通达度+农田防护林比率”，其中“6”表示高限制因子个数，“有效土层厚度+有机质含量+灌溉保证率+田块连片度+道路通达度+农田防护林比率”则是主要高限制因子类型组合。

2.3　构建障碍度模型

通过得分因子标识法确定了卢龙县耕地质量限制因子组合，找到了各地块的耕地质量限制因子，为了将划分重点区域落实到项目层面，本文通过障碍度模型，引入因子贡献度、指标偏离度和障碍度，对指标进行归一化处理和障碍度计算，准确了解评价单元中限制因子限制程度排序，并对重点区域进行细分，提升理论的适用性。

2.3.1　指标归一化

评价单元内所选指标的量纲不同，因此在计算

表 3 卢龙县耕地质量限制因子分值

Table 3 Limiting factors scores of cultivated land quality in Lulong County

图斑编号 Polygon number	有效土层厚度 Effective soil layer depth	表土质地 Topsoil texture	剖面构型 Profile constitution	有机质含量 Soil organic matter content	地形坡度 Terrain slope	灌溉保证率 Irrigating guarantee rate	田块规整度 Field regularity degree	田块连片度 Field contiguous degree	道路通达度 Road accessibility	耕作便利度 Farming convenience degree	农田防护林比率 Farmland shelter belt ratio	田块平整度 Field planeness
1	40	100	30	40	100	40	100	20	80	100	10	80
2	40	100	30	40	100	40	80	20	100	20	40	80
3	40	100	30	40	100	40	100	20	100	20	10	80
4	40	100	30	40	100	40	100	20	100	20	10	100
5	40	100	30	40	100	40	100	20	100	100	10	80
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
7665	70	100	100	40	100	40	100	20	100	20	60	60
7666	70	100	100	40	100	40	100	40	80	40	10	40
7667	70	100	100	40	100	40	100	40	40	40	40	60
7668	70	100	100	40	100	40	100	20	60	80	10	40
7669	70	100	100	40	100	40	100	40	20	20	10	60
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
15977	70	100	100	40	60	100	100	20	80	40	10	80
15978	70	100	100	40	60	100	100	20	60	80	10	80
15979	70	100	100	40	60	100	100	20	60	40	10	80
15980	70	100	100	40	60	100	100	20	40	40	10	80
15981	70	100	100	40	60	100	100	20	60	80	10	80

障碍度中，不能直接按照各评价指标所对应的指标值进行计算。因此需要在计算障碍度之前首先对所有的指标进行归一化处理，使 12 个耕地质量限制因子处于同一维度，达到全局可比的水平。本文中，运用极差法[22]进行归一化处理，使所有的限制因子均在[0,1]之间分布，具体归一化过程如下所示：

$$对于正向指标：\quad X_{ij}=\frac{x_{ij}-x_{\min}}{x_{\max}-x_{\min}} \tag{7}$$

$$对于负向指标：\quad X_{ij}=\frac{x_{\max}-x_{ij}}{x_{\max}-x_{\min}} \tag{8}$$

式中：X_{ij} 为第 j 个评价单元第 i 个指标标准化值，x_{ij} 为第 j 个评价单元第 i 个指标原始分值，$x_{\max}$、$x_{\min}$ 为第 j 个评价单元第 i 个指标分值的最大值与最小值。

2.3.2 障碍度模型确定评价单元限制因子限制程度

障碍度识别模型[13]通过引入因子贡献度、指标偏离度和障碍度 3 个指标，通过比对每个限制因子的障碍度数值，则可得到评价单元中限制因子限制程度排序。障碍度识别模型具体如下：

$$P_{ij}=1-X_{ij} \tag{9}$$

$$A_{ij}=\frac{P_{ij}\times R_j}{\sum_{i=1}^{n}(P_{ij}\times R_j)\times 100\%} \tag{10}$$

式中：P_{ij} 为第 j 个评价单元第 i 个指标的偏离度，表示该指标与理想值的距离；A_{ij} 为第 j 个评价单元第 i 个指标障碍度数值，其数值越大，则表明评价指标的限制程度越大；R_j 为第 j 个评价指标的贡献度值，即耕地质量评价指标体系中各指标的权重。

3 结果与分析

3.1 限制因子组合区域划定

通过得分因子标识法对卢龙县 15 981 个耕地地块进行分析，发现每个耕地地块都存在高限制因子，因此本文以全县域内所有耕地作为研究对象，最终汇总出 95 种类型(表 4)。全县有高限制因子的面积为 43 909.71 hm^2，其中限制因子个数为 5 个的区域面积最大，为 16 095.53 hm^2，占县域耕地总面积的 36.66%，主要分布在卢龙县的北部；限制因子个数为 9 个的面积最少，为 160.43 hm^2，占县域耕地总面积的 0.37%，主要分布在卢龙县中部的下寨乡。限制因子组合类型现状分布见图 2。

表 4　卢龙县耕地质量限制因子组合类型
Table 4　Combined types of cultivated land quality limiting factors in Lulong County

限制因子个数 Limiting factors number	限制因子组合 Limiting factors combination
9	有效土层厚度+剖面构型+土壤有机质含量+灌溉保证率+田块平整度+农田防护林比率+耕作便利度+道路通达度+田块连片度 Effective soil thickness + profile constitution + soil organic matter content + irrigating guarantee rate + field planeness + farmland shelter belt ratio + farming convenience degree + road accessibility + field contiguous degree
8	剖面构型+土壤有机质含量+灌溉保证率+田块平整度+农田防护林比率+耕作便利度+道路通达度+田块连片度 Profile constitution + soil organic matter content + irrigating guarantee rate + field planeness + farmland shelter belt ratio + farming convenience degree + road accessibility + field contiguous degree
8	有效土层厚度+剖面构型+土壤有机质含量+灌溉保证率+田块平整度+农田防护林比率+耕作便利度+田块连片度 Effective soil thickness + profile constitution + soil organic matter content + irrigating guarantee rate + field planeness + farmland shelter belt ratio + farming convenience degree + field contiguous degree
8	有效土层厚度+剖面构型+土壤有机质含量+灌溉保证率+田块平整度+农田防护林比率+耕作便利度+道路通达度 Effective soil thickness + profile constitution + soil organic matter content + irrigating guarantee rate + field planeness + farmland shelter belt ratio + farming convenience degree + road accessibility
8	有效土层厚度+剖面构型+土壤有机质含量+灌溉保证率+田块平整度+农田防护林比率+道路通达度+田块连片度 Effective soil thickness + profile constitution + soil organic matter content + irrigating guarantee rate + field planeness + farmland shelter belt ratio + road accessibility + field contiguous degree
...	...
6	有效土层厚度+土壤有机质含量+灌溉保证率+田块连片度+农田防护林比率+田块平整度 Effective soil thickness + soil organic matter content + irrigating guarantee rate + field contiguous degree + farmland shelter belt ratio + field planeness
6	有效土层厚度+土壤有机质含量+灌溉保证率+道路通达度+耕作便利度+农田防护林比率 Effective soil thickness + soil organic matter content + irrigating guarantee rate + road accessibility + farming convenience degree + farmland shelter belt ratio
5	剖面构型+土壤有机质含量+灌溉保证率+田块平整度+农田防护林比率 Profile constitution + soil organic matter content + irrigating guarantee rate + field planeness + farmland shelter belt ratio
5	剖面构型+土壤有机质含量+灌溉保证率+田块连片度+农田防护林比率 Profile constitution + soil organic matter content + irrigating guarantee rate + field contiguous degree + farmland shelter belt ratio
5	剖面构型+土壤有机质含量+灌溉保证率+耕作便利度+农田防护林比率 Profile constitution + soil organic matter content + irrigating guarantee rate + farming convenience degree + farmland shelter belt ratio
...	...
3	土壤有机质含量+农田防护林比率+道路通达度 Soil organic matter content + farmland shelter belt ratio + road accessibility
3	土壤有机质含量+农田防护林比率+田块连片度 Soil organic matter content + farmland shelter belt ratio + field contiguous degree
3	土壤有机质含量+田块连片度+道路通达度 Soil organic matter content + field contiguous degree + road accessibility
3	土壤有机质含量+田块连片度+耕作便利度 Soil organic matter content + field contiguous degree + farming convenience degree
3	有效土层厚度+土壤有机质含量+农田防护林比率 Effective soil thickness + soil organic matter content + farmland shelter belt ratio

3.2　主导限制因子重点区域划定分析

限制因子组合重点区域在土地整治工程中存在盲目性，为将限制因子组合重点区域落实到项目层面，对重点区域进行细分，提升理论的适用性，真正提高耕地整治工程的效率与精度，运用障碍度模型，对卢龙县耕地质量各评价单元的限制因子组合进行由大到小修正，对耕地质量提升重点区域做进一步细分，划分为以具体限制因子为主导的类型区域，指明不同重点区域内耕地质量提升的重点、工程类型及提升方向，尽量提高耕地质量提升工程实施的效率。修正后各因子组合类型见表 5。

由表 5 可知，卢龙镇主导限制因子重点区分为 5 个区，分别为道路通达度限制因子主导区、地形坡度限制因子主导区、灌溉保证率限制因子主导区、农田防护林比率限制因子主导区和有效土层厚度限制因子主导区。其中农田防护林比率限制因子主导区面积最大，为 37 680.91 hm^2，占卢龙县主导限制因子重点区域总面积的 85.81%；面积最小的是地形坡度限制因子主导区，为 171.87 hm^2，占卢龙县主导限制因子重点区域总面积的 0.39%。卢龙县各乡镇耕地质量主导限制因子重点区面积见表 6，耕地质量主导限制因子重点区分布见图 3。

1)道路通达度限制因子主导区域

道路通达度限制因子主导区域总面积为 1 876.16 hm^2，占县域耕地总面积的 4.27%，零星分布在全县，其中双望镇分布最多，达 413.55 hm^2，占该限制因子

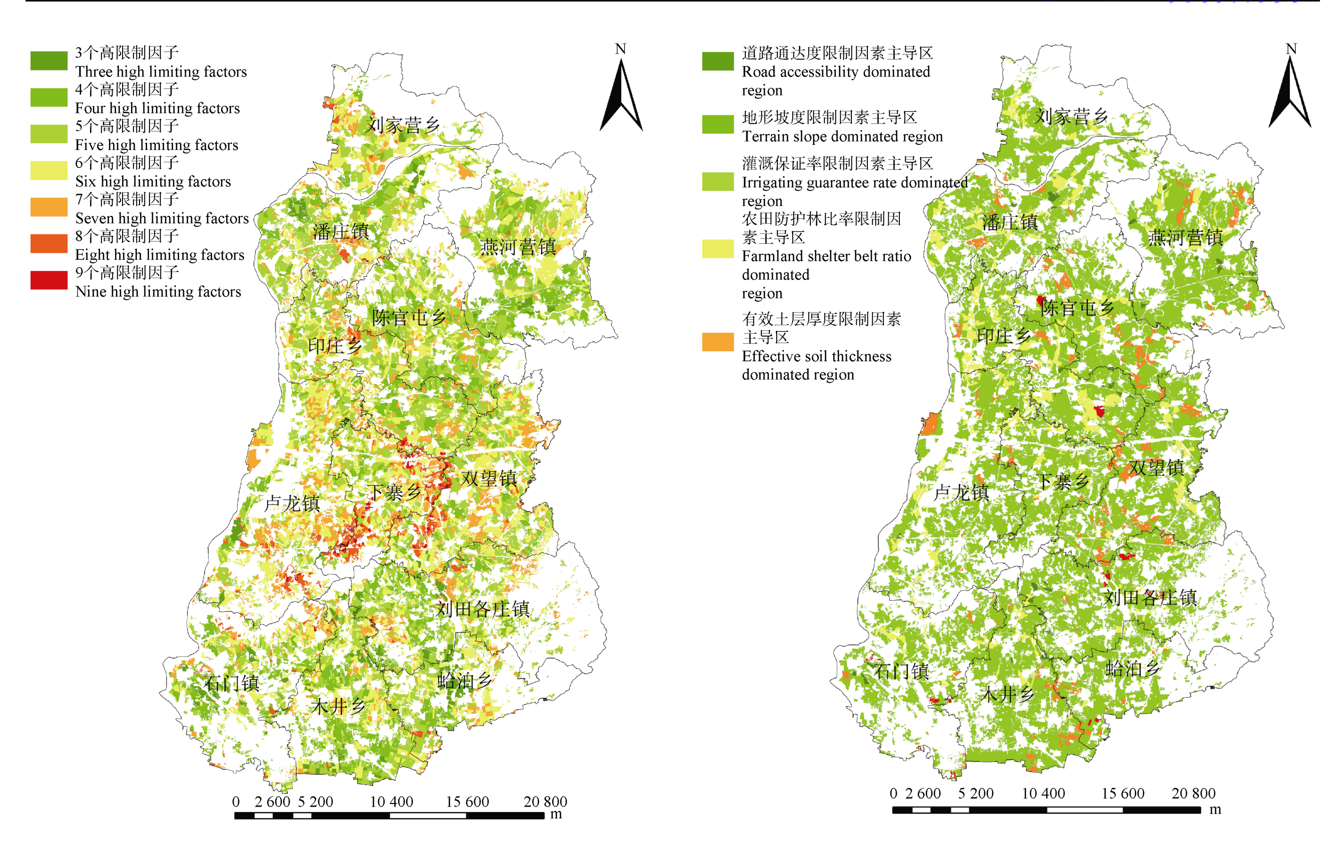


图 2 卢龙县耕地质量高限制因子数量分布图

Fig. 2 Distribution of high-level limiting factors numbers of cultivated land quality in Lulong County

图 3 卢龙县耕地主导限制因子重点区面积分布图

Fig. 3 Distribution of critical areas for dominant limiting factors of farmland in Lulong County

表 5 卢龙县耕地质量限制因子组合类型修正结果

Table 5 Revised results of the combined types of farmland quality limiting factors in Lulong County

序号 Number	限制因子组合 Limiting factors combination	图斑数 Polygon number	面积 Area (hm^2)	因子主导区 Factor dominated region	小计图斑数 Subtotal polygon number	小计面积 Subtotal area (hm^2)
1	道路通达度+灌溉保证率+农田防护林比率 Road accessibility + irrigating guarantee rate + farmland shelter belt ratio	53	29.74	道路通达度主导区 Road accessibility dominated region	438	1 876.16
2	道路通达度+农田防护林比率+灌溉保证率 Road accessibility + farmland shelter belt ratio + irrigating guarantee rate	163	870.28			
3	道路通达度+有效土层厚度+农田防护林比率 Road accessibility + effective soil thickness + farmland shelter belt ratio	222	976.14			
4	地形坡度+农田防护林比率+道路通达度 Terrain slope + farmland shelter belt ratio + road accessibility	46	84.73	地形坡度主导区 Terrain slope dominated region	82	171.87
5	地形坡度+农田防护林比率+灌溉保证率 Terrain slope + farmland shelter belt ratio + irrigating guarantee rate	36	87.14			
6	灌溉保证率+道路通达度+田块连片度 Irrigating guarantee rate + road accessibility + field contiguous degree	16	21.04	灌溉保证率主导区 Irrigating guarantee rate dominated region	133	319.44
7	灌溉保证率+耕作便利度+田块连片度 Irrigating guarantee rate + farming convenience degree + field contiguous degree	20	10.13			
8	灌溉保证率+农田防护林比率+田块连片度 Irrigating guarantee rate + farmland shelter belt ratio + field contiguous degree	1	0.23			
9	灌溉保证率+农田防护林比率+耕作便利度 Irrigating guarantee rate + farmland shelter belt ratio + farming convenience degree	56	255.59			
10	灌溉保证率+田块连片度+有效土层厚度 Irrigating guarantee rate + field contiguous degree + effective soil thickness	14	11.15			
11	灌溉保证率+田块连片度+农田防护林比率 Irrigating guarantee rate + field contiguous degree + farmland shelter belt ratio	26	21.31			

续表

序号 Number	限制因子组合 Limiting factors combination	图斑数 Polygon number	面积 Area (hm^2)	因子主导区 Factor dominated region	小计图斑数 Subtotal polygon number	小计面积 Subtotal area (hm^2)
12	农田防护林比率+道路通达度+有效土层厚度 Farmland shelter belt ratio + road accessibility + effective soil thickness	2 734	7 273.51	农田防护林比率主导区 Farmland shelter belt ratio dominated region	13 978	37 680.91
13	农田防护林比率+道路通达度+灌溉保证率 Farmland shelter belt ratio + road accessibility + irrigating guarantee rate	2 783	7 844.29			
14	农田防护林比率+道路通达度+田块连片度 Farmland shelter belt ratio + road accessibility + field contiguous degree	173	516.82			
15	农田防护林比率+道路通达度+田块平整度 Farmland shelter belt ratio + road accessibility + field planeness	17	57.28			
16	农田防护林比率+地形坡度+道路通达度 Farmland shelter belt ratio + terrain slope + road accessibility	5	6.84			
17	农田防护林比率+地形坡度+田块连片度 Farmland shelter belt ratio + terrain slope + field contiguous degree	5	17.72			
18	农田防护林比率+灌溉保证率+道路通达度 Farmland shelter belt ratio + irrigating guarantee rate + road accessibility	747	2 113.30			
19	农田防护林比率+灌溉保证率+田块平整度 Farmland shelter belt ratio + irrigating guarantee rate + field planeness	235	535.71			
20	农田防护林比率+灌溉保证率+田块连片度 Farmland shelter belt ratio + irrigating guarantee rate + field contiguous degree	1 385	2 093.81			
21	农田防护林比率+灌溉保证率+耕作便利度 Farmland shelter belt ratio + irrigating guarantee rate + farming convenience degree	313	1 202.13			
22	农田防护林比率+灌溉保证率+地形坡度 Farmland shelter belt ratio + irrigating guarantee rate + terrain slope	9	26.47			
23	农田防护林比率+灌溉保证率+有效土层厚度 Farmland shelter belt ratio + irrigating guarantee rate + effective soil thickness	334	1 528.00			
24	农田防护林比率+灌溉保证率+有机质含量 Farmland shelter belt ratio + irrigating guarantee rate + soil organic matter content	3	24.38			
25	农田防护林比率+有效土层厚度+灌溉保证率 Farmland shelter belt ratio + effective soil thickness + irrigating guarantee rate	4 107	10 991.69			
26	农田防护林比率+有效土层厚度+道路通达度 Farmland shelter belt ratio + effective soil thickness + road accessibility	809	2 430.97			
27	农田防护林比率+有效土层厚度+田块平整度 Farmland shelter belt ratio + effective soil thickness + field planeness	319	1 017.99			
28	有效土层厚度+灌溉保证率+田块平整度 Effective soil thickness + irrigating guarantee rate + field planeness	63	46.54	有效土层厚度主导区 Effective soil thickness dominated region	1 350	3 861.32
29	有效土层厚度+灌溉保证率+道路通达度 Effective soil thickness + irrigating guarantee rate + road accessibility	32	12.28			
30	有效土层厚度+灌溉保证率+耕作便利度 Effective soil thickness + irrigating guarantee rate + farming convenience degree	13	23.57			
31	有效土层厚度+灌溉保证率+农田防护林比率 Effective soil thickness + irrigating guarantee rate + farmland shelter belt ratio	138	138.99			
32	有效土层厚度+灌溉保证率+田块连片度 Effective soil thickness + irrigating guarantee rate + field contiguous degree	201	106.53			
33	有效土层厚度+农田防护林比率+灌溉保证率 Effective soil thickness + farmland shelter belt ratio + irrigating guarantee rate	903	3 533.42			

主导区域 11.82%。包括 3 个 2 级限制因子主导区，其中有效土层厚度 2 级主导区，“道路通达度+有效土层厚度+农田防护林比率”因子组合面积在道路通达度限制因子主导区域面积最大，为 976.14 hm^2，占该限制因子主导区域总面积的 52.03%，主要分布在卢龙县中部和北部的双望镇、燕河营镇、潘庄镇和印庄镇。该区域主导限制因子为道路通达度，在实施整治项目时，应首先加强对道路及田间路的建设，还应考虑其次限制因子农田防护林比率、灌溉保证率和有效土层厚度限制，加强农田基础设施的建设，

表 6 卢龙县各乡镇耕地质量主导限制因子重点区面积比例
Table 6 Proportions of dominant limiting factor regions of cultivated land quality in Lulong County

乡镇 Township	主导限制因子 Dominant limiting factor									
	道路通达度 Road accessibility		地形坡度 Terrain slope		灌溉保证率 Irrigating guarantee rate		农田防护林比率 Farmland shelter belt ratio		有效土层厚度 Effective soil thickness	
	面积 Area (hm²)	比例 Proportion (%)	面积 Area (hm²)	比例 Proportion (%)	面积 Area (hm²)	比例 Proportion (%)	面积 Area (hm²)	比例 Proportion (%)	面积 Area (hm²)	比例 Proportion (%)
卢龙镇 Lulong	180.77	9.63	—	0.00	6.28	1.96	4 117.74	10.93	513.75	13.30
石门镇 Shimen	73.63	3.92	31.00	18.04	37.59	11.77	2 658.74	7.06	175.25	4.54
木井乡 Mujing	185.24	9.87	6.64	3.86	20.38	6.38	3 520.03	9.34	193.94	5.02
蛤泊乡 Gebo	88.42	4.71	14.14	8.23	0.79	0.25	2 033.86	5.40	51.73	1.34
刘田各庄镇 Liutiangezhuang	57.78	3.08	60.34	35.11	53.87	16.86	3 757.88	9.97	144.83	3.75
下寨乡 Xiazhai	54.11	2.88	—	0.00	3.27	1.02	2 293.27	6.09	252.16	6.53
双望镇 Shuangwang	413.55	22.04	—	0.00	2.31	0.72	3 877.23	10.29	302.50	7.83
印庄乡 Yinzhuang	127.17	6.78	35.03	20.38	39.70	12.43	3 337.56	8.86	909.00	23.54
陈官屯乡 Chenguantun	316.60	16.87	24.28	14.13	3.74	1.17	3 245.35	8.61	253.75	6.57
燕河营镇 Yanheying	241.34	12.86	—	0.00	98.10	30.71	3 984.57	10.57	308.34	7.99
潘庄镇 Panzhuang	123.06	6.56	0.45	0.26	51.85	16.23	3 135.67	8.32	533.26	13.81
刘家营乡 Liujiaying	14.49	0.77	—	0.00	1.57	0.49	1 718.99	4.56	222.83	5.77
总计 Total	1 876.16	100.00	171.87	100.00	319.44	100.00	37 680.91	100.00	3 861.32	100.00

并积极防止自然灾害引起的水土流失现象。

2)地形坡度限制因子主导区域

地形坡度限制因子主导区域总面积为 171.87 hm^2，仅占县域耕地总面积的 0.39%，是所有限制因子主导区域中面积最小的一个，主要分布在地形地势较高的石门镇和陈官屯乡。该主导限制因子区域内有 2 种限制因子组合，分别为“地形坡度+农田防护林比率+道路通达度”和“地形坡度+农田防护林比率+灌溉保证率”。该区域由于地形地势较高，灌溉、交通不方便，造成田间路道路通达度和灌溉保证率受限制，提升难度较大，但由于土层厚度适宜，田块较平整，集中连片程度较好，整治时可考虑建设梯田。

3)灌溉保证率限制因子主导区域

灌溉保证率限制因子主导区域总面积为 319.44 hm^2，占县域耕地总面积的 0.73%，仅比地形坡度主导区域的面积大，且地块分布较散，绝大部分分布在燕河营镇、石门镇和印庄乡。该区域包含由道路通达度、耕作便利度、农田防护林比率和田块连片度主导的 4 类 2 级限制因子主导区域的 6 种限制因子组合，由灌溉保证率主导的限制因子 2 级区面积最大，为 255.82 hm^2，占到该限制因子主导区域总面积的 80.08%，其中“灌溉保证率+农田防护林比率+耕作便利度”因子组合面积最大，达 255.59 hm^2，占该限制因子主导区域总面积的 80.01%。在该重点区域内，由于其他限制因子均处于相对较好的状态，如坡度低平、土壤理化性质相对稳定，从高程图中可以看出该区域地势低平，通过打机井及修筑引水渠，使该重点区域内耕地灌溉保证率得到保障及提升，在短时间内耕地质量提升得到明显改善，从而使耕地质量相对较易的达到较高的水平。

4)农田防护林限制因子主导区域

农田防护林限制因子主导区域总面积为 37 680.91 hm^2，占县域耕地总面积的 85.81%，是主导限制因子组合中面积最大、分布最广的区域。该区域包含由道路通达度、地形坡度、灌溉保证率和有效土层厚度主导的 4 类 2 级限制因子主导区域的 16 种限制因子组合，其中道路通达度为第 2 主导限制因子面积最大，为 1 5691.90 hm^2，占该限制因子主导区域总面积的 41.64%；在农田防护林比率限制因子主导区域内“农田防护林比率+有效土层厚度+灌溉保证率”因子

组合面积最大，达 1 0991.69 hm^2，占该限制因子主导区域总面积的 29.17%，主要分布在印庄乡、潘庄镇和卢龙镇，面积均超过 1 400 hm^2；其次为“农田防护林比率+道路通达度+灌溉保证率”和“农田防护林比率+道路通达度+有效土层厚”限制因子组合，面积分别为 7 844.29 hm^2 和 7 273.51 hm^2，分别占农田防护林限制因子主导区域总面积的 20.82%和 19.30%，前者主要分布在双望镇和卢龙镇，面积分别为 1 514.96 hm^2 和 1 306.94 hm^2，而后者主要分布在陈官屯乡和双望镇，面积分别为 1 188.35 hm^2 和 1 084.10 hm^2。农田防护林限制因子主导区域在全县均有分布，除石门镇、蛤泊乡、下寨乡和刘家营乡之外其余乡镇均超过 3 000 hm^2，其中卢龙镇达 4 117.74 hm^2，占农田防护林限制因子主导区域总面积的 10.93%。在该区域内，主导限制因子是农田防护林比率，其次道路通达度、地形坡度、灌溉保证率和有效土层厚度为 2 级限制因子。该区应加大农田防护林的建设力度，更好地庇护农田，防止其水土大量流失；其次应改善该田间路水平，加强农田基础设施建设，增加有效土层厚度；加强土壤肥力改造，提高耕地投入水平，以提高该区域的耕地质量。

5)有效土层厚度限制因子主导区域

有效土层厚度限制因子主导区域总面积为 3 861.32 hm^2，占县域耕地总面积的 8.79%，面积仅次于农田防护林限制因子主导区域，在全县均有分布，主要分布点印庄乡面积为 909.00 hm^2，占有效土层厚度限制因子主导区域的 23.54%。该区域包含灌溉保证率和农田防护林比率两种 2 级限制因子主导区的 6 种限制因子组合，其中“有效土层厚度+农田防护林比率+灌溉保证率”因子组合面积最大，为 3 533.42 hm^2，占有效土层厚度限制因子主导区总面积的 91.51%，主要分布在印庄乡、潘庄镇和卢龙镇，面积分别为 857.55 hm^2、487.89 hm^2 和 461.33 hm^2。在有效土层厚度限制因子主导区域内，90%以上耕地综合质量相对较好，在该区域内以改善有效土层厚度为主，其次可以通过打井或修缮引水渠提高区域的灌溉保证率，加强农田防护林建设，提高对于耕地的投入水平，以提高该区域的耕地质量。

4　结论与讨论

本文在分析耕地整治可改造限制因子基础上，构建基于耕地整治可改造限制因子的耕地质量评价指标体系，运用得分因子标识法和引入障碍度模型，对区域耕地质量提升重点区域划定进行研究，得出以下结论：1)运用得分因子标识法，结合研究区实际情况，确定了卢龙县所有耕地地块的限制因子组合类型，其中限制因子个数为 5 个的区域面积最大，限制因子个数为 9 个的面积最少。高限制因子个数较多的主要分布在卢龙县的中部地区，说明中部地区改造难度较大。2)引入障碍度分析模型对 95 种限制因子组合进行修正，筛选出障碍度前 3 位的限制因子进行排序组合，确定了 33 个限制因子组合类型，5 种主导限制因子重点区域，其中农田防护林比率限制因子主导区面积最大。要根据各主导限制因子重点区域的主导限制因子，结合重点区域内其他限制因子进行针对性的土地整治，提高耕地质量，保证粮食生产。

前人主要研究耕地质量提升限制因子的组合类型问题，对限制程度排序研究较少，本文引入障碍度模型对卢龙县耕地提升重点区域进行划定，障碍度模型对限制因子有更加准确的排序，确定了区域的主导限制因子，从而可以有针对性地进行区域耕地整治。本文仅确定了耕地质量提升的重点区域，并未对可提升的程度做出分析，在今后的研究中，应继续对该区域的可提升程度进行探究。后续还可以建立耕地资源信息系统，进一步了解耕地限制因子现状分布和可提升程度，为今后有效管理耕地资源做出贡献。

参考文献　References

[1] 余亮亮，蔡银莺．耕地保护经济补偿政策的初期效应评估——东、西部地区的实证及比较[J]．中国土地科学, 2014, 28(12): 16–23
Yu L L, Cai Y Y. Assessing the effect of economic compensation for farmland protection policy: An empirical research and comparison of the eastern and western regions of China[J]. China Land Sciences, 2014, 28(12): 16–23

[2] 朱新华，曲福田．基于粮食安全的耕地保护外部性补偿途径与机制设计[J]．南京农业大学学报：社会科学版，2007, 7(4): 1–7
Zhu X H, Qu F T. Food safety based cultivated lands preservation exterior compensation: Methods and mechanism design[J]. Journal of Nanjing Agricultural University: Social Sciences Edition, 2007, 7(4): 1–7

[3] 吕昭江．构建我国粮食安全的配套保障机制[J]．南京财经大学学报, 2004(1): 40–44
Lü Z J. Setting up the corresponding guarantee mechanism to food security in China[J]. Journal of Nanjing University of Finance and Economics, 2004(1): 40–44

[4] 张瑞娟，姜广辉，周丁扬，等．耕地整治质量潜力测算方法[J]．农业工程学报, 2013, 29(14): 238–244
Zhang R J, Jiang G H, Zhou D Y, et al. Calculation method of qualitative potential of farmland consolidation[J].

Transactions of the CSAE, 2013, 29(14): 238–244

[5] 陈茜, 段建南, 孔祥斌, 等. 北京市基本农田保护区内耕地数量提升潜力研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(3): 200–203
Chen Q, Duan J N, Kong X B, et al. Study on quantity promotion potential of Beijing basic farmland protection area[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2012, 19(3): 200–203

[6] 叶艳妹, 吴次芳, 蒋悦悦. 基于精细化分区的农地整理田块规划设计研究[J]. 中国土地科学, 2011, 25(2): 55–60
Ye Y M, Wu C F, Jiang Y Y. Farmland reconsolidation planning based on detailed zoning approach[J]. China Land Science, 2011, 25(2): 55–60

[7] 刘国勖, 宋玉玲. 松嫩平原耕地生产力的模糊聚类分区[J]. 农业系统科学与综合研究, 1995, 11(2): 153–154
Liu G X, Song Y L. Fuzzy clustering of farmland productivity in Songnen plain[J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 1995, 11(2): 153–154

[8] 邢世和, 范胜龙, 谢钊, 等. 基于GIS技术的福建省耕地价值构成与分区评价[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2008, 37(4): 420–424
Xing S H, Fan S L, Xie Z, et al. Evaluation on composition and division of cropland value in Fujian based on GIS[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Natural Science Edition, 2008, 37(4): 420–424

[9] 邢世和, 徐志平, 韦红, 等. 福建省耕地可持续利用分区评价及其对策[J]. 福建农业学报, 2003, 18(3): 129–133
Xing S H, Xu Z P, Wei H, et al. Division evaluation and countermeasure of cropland sustainable utilization in Fujian Province[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2003, 18(3): 129–133

[10] 刘玉, 刘彦随, 薛剑, 等. 海河冲积平原区耕地综合产能核算及其分区利用[J]. 资源科学, 2009, 31(4): 598–603
Liu Y, Liu Y S, Xue J, et al. Calculation of the integrated productive capacity and subarea utilization of cultivated land in alluvial plain area of Haihe river[J]. Resources Science, 2009, 31(4): 598–603

[11] 王印传, 许嗥, 孙丹峰, 等. 黄塔小流域农业生态系统景观特征探析[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(1): 209–211
Wang Y C, Xu H, Sun D F, et al. Landscape characters of agricultural ecology system in Huangta small watershed[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2006, 14(1): 209–211

[12] 郭力娜, 张凤荣, 曲衍波, 等. 基于分等因素组合的农用地整理类型分区[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 308–314
Guo L N, Zhang F R, Qu Y B, et al. Farmland consolidation type zoning based on combination of grading factors[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(9): 308–314

[13] 胡辉, 谢梅生, 蔡斌, 等. GIS技术在县级土地利用总体规划修编基本农田划定中的应用——以江西省安义县为例[J]. 中国土地科学, 2009, 23(12): 28–32
Hu H, Xie M S, Cai B, et al. Application of GIS techniques in primary farmland zoning in the revision of land use general planning of county level: Taking Anyi County of Jiangxi as an example[J]. China Land Science, 2009, 23(12): 28–32

[14] 王新盼, 姜广辉, 张瑞娟, 等. 高标准基本农田建设区域划定方法[J]. 农业工程学报, 2013, 29(10): 241–250
Wang X P, Jiang G H, Zhang R J, et al. Zoning approach of suitable areas for high quality capital farmland construction[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(10): 241–250

[15] 董秀茹, 尤明英, 王秋兵. 基于土地评价的基本农田划定方法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 336–339
Dong X R, You M Y, Wang Q B. Demarcating method of prime farmland based on land evaluation[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(4): 336–339

[16] 沈明, 陈飞香, 苏少青, 等. 省级高标准基本农田建设重点区域划定方法研究——基于广东省的实证分析[J]. 中国土地科学, 2012, 26(7): 28–33
Shen M, Chen F X, Su S Q, et al. Approach to determining the key areas for provincial high-standard primary farmland development: Based on Guangdong Province[J]. China Land Science, 2012, 26(7): 28–33

[17] 李超, 杜昭阳, 陈亚恒, 等. 基于栅格数据的高标准基本农田综合评价及建设时序研究——以河北省卢龙县为例[J]. 农业现代化研究, 2015, 36(1): 111–117
Li C, Du Z Y, Chen Y H, et al. Evaluating and planning of high quality basic farmland construction based on raster data: A case study of Lulong County, Hebei Province[J]. Research of Agricultural Modernization, 2015, 36(1): 111–117

[18] 杨伟, 谢德体, 廖和平, 等. 基于高标准基本农田建设模式的农用地整治潜力分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(7): 219–229
Yang W, Xie D T, Liao H P, et al. Analysis of consolidation potential of agricultural land based on construction mode of high-standard basic farmland[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(7): 219–229

[19] 涂建军, 卢德彬. 基于GIS与耕地质量组合评价模型划定基本农田整备区[J]. 农业工程学报, 2012, 28(2): 234–238
Tu J J, Lu D B. Consolidation area delimitation for supplemental prime farmland based on GIS and combined quality assessment model[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(2): 234–238

[20] 魏洪斌. 基于土地整治的耕地质量评价与提升研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2015
Wei H B. Study on cultivated land quality evaluation and promotion based on land consolidation[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2015

[21] 李静. 土地评价指标标准化方法研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2012
Li J. Research on the standardization method of land evaluative index[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2012

[22] 吴一凡, 雷国平, 路昌, 等. 基于改进TOPSIS模型的大庆市城市土地利用绩效评价及障碍度诊断[J]. 水土保持研究, 2015, 22(4): 85–90
Wu Y F, Lei G P, Lu C, et al. Evaluation of urban land use performance based on the improved TOPSIS model and diagnosis of its obstacle degree in Daqing[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2015, 22(4): 85–90